

THERMAL AIR FLOW RATE SENSOR AND CONTROLLER FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Patent Number: JP2001012985
Publication date: 2001-01-19
Inventor(s): YAMADA MASAMICHI; IGARASHI SHINYA; WATANABE IZUMI; NAKADA KEIICHI
Applicant(s): HITACHI LTD;; HITACHI CAR ENG CO LTD
Requested Patent: ☐ [JP2001012985](#)
Application Number: JP19990181065 19990628
Priority Number(s):
IPC Classification: G01F1/68; F02D45/00; H01L37/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a thermal air flow rate sensor having high reliability and enhanced measurement accuracy.

SOLUTION: The thermal air flow sensor comprises heaters 4 and a plurality of temperature measuring resistors 5a, 5b, 6 formed of a semiconductor thin film 2b of doped single crystal silicon(Si) on a semiconductor substrate 2a through an electric insulating film. Longitudinal direction of the patterned resistor is substantially aligned with the direction of the semiconductor thin film 2b where the piezoelectric coefficient is minimized in order to suppress the effect of stress generated during the manufacturing process thus enhancing high reliability.

Data supplied from the **esp@cenet** database - l2

C

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-12985
(P2001-12985A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001.1.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト (参考)
G 0 1 F 1/68		G 0 1 F 1/68	2 F 0 3 5
F 0 2 D 45/00	3 6 6	F 0 2 D 45/00	3 6 6 B 3 G 0 8 4
H 0 1 L 37/00		H 0 1 L 37/00	
// F 0 2 D 35/00		F 0 2 D 35/00	3 6 6 E

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-181065

(22) 出願日 平成11年6月28日 (1999. 6. 28)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000232999

株式会社日立カーエンジニアリング

茨城県ひたちなか市高場2477番地

(72) 発明者 山田 雅通

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

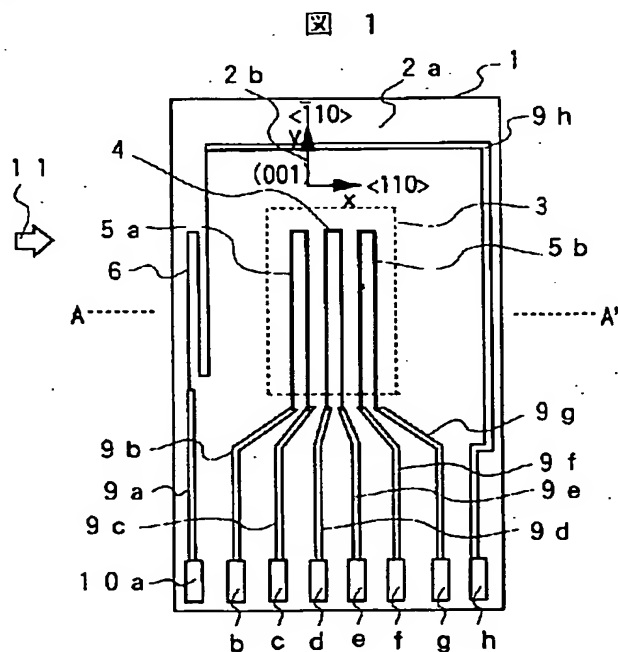
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱式空気流量センサ及び内燃機関制御装置

(57) 【要約】

【課題】信頼性が高く、計測精度の向上した熱式空気流量センサを提供する。

【解決手段】半導体基板2a上に電気絶縁膜8aを介して発熱抵抗体4及び複数の測温抵抗体5a, 5b, 6をドーブ処理された単結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜2bで構成し、パターン形成された前記抵抗体の長手方向と単結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜2bのピエゾ抵抗係数が極小となる結晶方位とをほぼ一致させ、製造工程等で生ずる応力影響を少なく信頼性が高く高精度の熱式空気流量センサ。



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板上に電気絶縁膜を介して発熱抵抗体及び測温抵抗体を形成して空気流量を計測する熱式空気流量センサにおいて、前記発熱抵抗体及び測温抵抗体をドーブ処理された単結晶半導体薄膜で構成し、前記抵抗体の長手方向と前記抵抗体を構成する単結晶半導体薄膜のピエゾ抵抗係数が極小となる結晶方位とをほぼ一致させたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項2】半導体基板上に電気絶縁膜を介して発熱抵抗体及び測温抵抗体を形成して空気流量を計測する熱式空気流量センサにおいて、前記発熱抵抗体及び測温抵抗体をドーブ処理された単結晶半導体薄膜で構成し、前記半導体薄膜のピエゾ抵抗係数が極大となる2つの結晶方位の間に前記抵抗体の長手方向を形成したことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項3】請求項1または2において、前記単結晶半導体薄膜が単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項4】請求項1または2において、前記単結晶半導体薄膜が単結晶炭化ケイ素（SiC）半導体薄膜であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項5】請求項1または2において、前記単結晶半導体薄膜が単結晶ガリウム砒素（GaAs）半導体薄膜であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項6】請求項1ないし請求項5の何れかにおいて、前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体の不純物濃度を他の測温抵抗体の不純物濃度より大きくしたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項7】請求項1ないし請求項6の何れかにおいて、前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体のドーブ処理された単結晶半導体薄膜の不純物濃度が等しいことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項8】請求項1、2、3、6又は7において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体のドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜の不純物濃度が 3×10^{19} （/cm³）以上であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項9】請求項1ないし請求項8の何れかにおいて、前記抵抗体の内少なくとも一つは、空洞を有する半導体基板上の電気絶縁膜上に形成されたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項10】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、燐（P）等の不純物がドーブされたn型半導体からなり、且つ薄膜面が（001）面で更に<110>結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項11】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、燐（P）等の不純物がドーブされたn型半導体からなり、且つ薄膜面が（211）面で更に<111>結晶方位が前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項12】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、燐（P）等の不純物がドーブされたn型半導体からなり、且つ薄膜面が（011）面で更に<211>から<111>間の結晶方位パターン形成された前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項13】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、ボロン（B）の不純物がドーブされたp型半導体からなり、且つ薄膜面が（001）面で更に<100>或いは<010>結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項14】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、ボロン（B）等の不純物がドーブされたp型半導体からなり、且つ薄膜面が（011）面で更に<100>結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項15】請求項1、2、3、6、7、8又は9において、前記抵抗体をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とし、且つ前記ドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜が、ボロン（B）等の不純物がドーブされたp型半導体からなり、且つ薄膜面が（211）面が更に<120>或いは<102>結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向であることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項16】請求項1から請求項15のいずれか記載の前記熱式空気流量センサを用いて内燃機関の吸入空気量を計測し、燃料噴射量を制御する内燃機関制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱式空気流量センサに係り、特に内燃機関の吸入空気量を測定するのに好適な熱式空気流量センサ及び内燃機関制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より自動車などの内燃機関の電子制

御燃料噴射装置に設けられ吸入空気量を測定する空気流量センサとして、熱式のものが質量空気量を直接検知できることから主流となってきた。

【0003】この中で特に、半導体マイクロマシニング技術により製造された空気流量センサが、コストが低減でき且つ低電力で駆動することが出来ることから注目されてきた。このような従来の半導体基板を用いた熱式空気流量センサとしては、例えば、特開平8-54269号公報に開示されている。

【0004】上記特開平8-54269号公報に記載の技術では、発熱抵抗体として材料コストの利点から多結晶ケイ素（ポリシリコン）が使用されているが、吸入空気量の測定に際して、空気温度の温度依存性に関して考慮されておらず流量計測精度が十分でないこと、また、多結晶ケイ素が加熱されると時間と共に抵抗値に経時変化が生じ流量計測精度が十分確保できないという問題があった。

【0005】多結晶ケイ素に比較して抵抗値の経時変化が少ないのが単結晶ケイ素である。単結晶ケイ素を発熱抵抗体に利用した従来例としては、特開平10-221144号公報に記載の技術がある。しかし、この従来技術においても空気温度の温度依存性に関して考慮されておらず流量計測精度が十分でないこと、また、発熱抵抗体が単結晶ケイ素基板に形成された掘りの上に架橋され発熱抵抗体の回りに空間が存在し、自動車等の過酷な使用環境の内燃機関に使用するとき塵埃等が発熱抵抗体の開口した空間領域に付着し吸入空気量の計測精度が劣化する等の信頼性に問題がある。また、発熱抵抗体を構成する単結晶ケイ素薄膜に関して、その結晶方位に関して検討されておらず、流量計測精度および信頼性に問題があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来技術には次のような課題がある。上記特開平8-54269号公報において、半導体基板上に電気絶縁膜を介して発熱抵抗体として多結晶ケイ素（ポリシリコン）が使用されているが、空気温度を検出する為の空気温度測温抵抗体が形成されていない為に空気温度が変化した場合に被測定空気の流れに対応した出力が誤差を持つという問題がある。また、多結晶ケイ素が加熱されると時間と共に抵抗値に経時変化が生じ流量計測精度が十分確保できないという問題があった。

【0007】一方、単結晶ケイ素を発熱抵抗体に利用した特開平10-221144号公報に記載の従来技術では、以下のような問題がある。

【0008】図17(a)、(b)に、特開平10-221144号公報の図2の(A)、(C)に記載の空気流量センサの平面図および断面図を示す。図17の2bが半導体基板、2cが単結晶ケイ素薄膜からなる発熱抵抗体で、7が半導体基板に形成された空洞（掘り）、8cが電気絶縁膜、28が引出電極である。

【0009】この様に構成された従来の空気流量センサ

では、単結晶ケイ素を発熱抵抗体に利用したことにより多結晶ケイ素に比較して単晶粒界が存在しないことにより抵抗値の経時変化が低減されるが、上記特開平8-54269号公報に記載した従来例と同じく空気温度を検出する為の空気温度測温抵抗体が形成されていない為に空気温度が変化した場合に被測定空気の流れに対応した出力が誤差を持つという問題がある。

【0010】更に、従来の空気流量センサでは、発熱抵抗体2cが単結晶ケイ素基板2bに形成された空洞（掘り）7の上に架橋され発熱抵抗体の回りに空間が存在している。このように構成された熱式空気流量センサを、自動車等の過酷な使用環境の内燃機関に使用すると、吸入空気に含まれる塵埃等が発熱抵抗体2cの開口した空間領域及び空洞7の表面に付着し、空気流の流れを乱すとともに塵埃の付着による熱伝導効果により発熱抵抗体2cから単結晶ケイ素基板2bへの熱の逃げが増大し吸入空気量の計測精度が劣化する等の信頼性に問題がある。

【0011】更には、上記従来例では、単結晶ケイ素を発熱抵抗体2cに適用しているが、発熱抵抗体2cの上下層に形成された電気絶縁膜8cの残留応力の影響で発熱抵抗体2cを構成する単結晶ケイ素に応力が加わった場合に抵抗値が変化するピエゾ効果が存在するが、この発熱抵抗体2cを構成する単結晶ケイ素の結晶方位に関しては十分に考慮されておらず流量計測精度を十分確保することができない。本発明の目的は、信頼性が高く、計測精度の向上した熱式空気流量センサ及び内燃機関制御装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の目的は、半導体基板上の全面に電気絶縁膜を介して発熱抵抗体及び複数の測温抵抗体を形成して空気流量を計測する熱式空気流量センサにおいて、前記発熱抵抗体及び測温抵抗体をドーブ処理された単結晶半導体薄膜で構成し、且つパターン形成された前記抵抗体の長手方向と単結晶半導体薄膜のピエゾ抵抗係数が極小となる結晶方位とをほぼ一致させることにより達成され、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき抵抗値の経時変化が改善され、また抵抗体の回りが空気流に対して開口していないので塵埃等の付着が低減され安定した流量計測精度が実現できる。

【0013】上記のドーブ処理された単結晶半導体薄膜をドーブ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜とすることにより、同じく電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき、単晶粒界が存在しないことから抵抗値の経時変化が改善される。

【0014】上記のドーブ処理された単結晶半導体薄膜をドーブ処理された単結晶炭化ケイ素（SiC）半導体薄膜とすることにより、同じく電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき、結晶粒界が存在しないことから抵抗値の経時変化が改善される。上記のドーブ処理された単

結晶半導体薄膜をドーブ処理された単結晶ガリウム砒素 (GaAs) 半導体薄膜とすることにより、同じく電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき、結晶粒界が存在しないことから抵抗値の経時変化が改善される。

【0015】前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体 (空気温度計測用) の不純物濃度を他の測温抵抗体の不純物濃度より大きくしたことにより、測温抵抗体 (他の温度計測用) では抵抗温度係数が大きく出来、発熱抵抗体では抵抗値を低減でき各々最適の特性の選択が可能となる。

【0016】前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体 (空気温度計測用) のドーブ処理された単結晶半導体薄膜の不純物濃度を等しくしたことにより、発熱抵抗体と空気温度の測温抵抗体の抵抗温度係数が同じになり、吸気温度補償の為にブリッジ回路を構成した場合に高精度の流量計測精度が実現できる。

【0017】前記発熱抵抗体と少なくとも一つの前記測温抵抗体 (空気温度計測用) のドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜の不純物濃度が $3 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ 以上とすることにより、より高精度の流量計測精度が実現できる。

【0018】前記抵抗体の内少なくとも発熱抵抗体は、空洞を有する半導体基板上の電気絶縁膜上に形成することにより、熱絶縁がより得られ、高精度の流量計測精度が実現できる。

【0019】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、リン (P) 等の不純物がドーブされた n 型半導体からなり、且つ薄膜面が (001) 面で更に $\langle 110 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0020】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、リン (P) 等の不純物がドーブされた n 型半導体からなり、且つ薄膜面が (211) 面で更に $\langle 111 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0021】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、リン (P) 等の不純物がドーブされた n 型半導体からなり、且つ薄膜面が (011) 面に更に $\langle 211 \rangle$ から $\langle 111 \rangle$ 間の結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0022】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、ボロン (B) 等の不純物がドーブ処理された p 型半導体からなり、且つ薄膜面が (001) 面で更に $\langle 100 \rangle$ 或いは $\langle 010 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量

計測精度が実現できる。

【0023】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、ボロン (B) 等の不純物がドーブされた p 型半導体からなり、且つ薄膜面が (011) 面で更に $\langle 100 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0024】前記ドーブ処理された単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜が、ボロン (B) 等の不純物がドーブされた p 型半導体からなり、且つ薄膜面が (211) 面で更に $\langle 120 \rangle$ 或いは $\langle 102 \rangle$ の結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、電気絶縁膜の残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0025】前記熱式空気流量センサを用いて内燃機関の吸入空気量を計測し、燃料噴射量を制御することにより、信頼性が高く安定した高精度の内燃機関制御装置が実現できる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例について、図面を参照して説明する。

【0027】図1は、本発明の実施例の熱式空気流量センサ素子1を示す平面図、図2は、図1の測定素子1の A-A' 断面図である。

【0028】図1、図2において、素子1は、空洞7を有する単結晶ケイ素 (Si) 等の半導体基板2a、電気絶縁膜8a、空洞7上の電気絶縁膜からなるダイヤフラム3に形成された発熱抵抗体4、上流側測温抵抗体5aと下流側測温抵抗体5b、基板2aの上流部に形成された発熱抵抗体4とブリッジ回路 (図示せず) を構成し空気温度を計測する為の空気温度測温抵抗体6、素子1の信号を駆動制御回路と接続するための端子電極10 (10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f, 10g, 10h)、各抵抗体と端子電極10を接続するための配線接続部9 (9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g, 9h)、各抵抗体を保護するための電気絶縁膜8bよりなる。

【0029】ここで、各抵抗体4, 5a, 5b, 6はリン (P) 等の不純物ドーブ処理された n 型単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜層2bよりなり、発熱抵抗体4及び空気温度測温抵抗体6は測温抵抗体5a, 5bに対してリン (P) 等の不純物濃度が大きくなるように形成されている。また、上記単結晶ケイ素 (Si) 半導体薄膜層2bの結晶方位は、膜面が (001) 面で抵抗体4, 5a, 5b, 6のパターンの長手方向が $\langle 110 \rangle$ となるように選定されている。

【0030】本発明の実施例である熱式空気流量センサは、以下の様な動作を行う。

【0031】空洞7および電気絶縁膜8aにより熱絶縁

され、電気絶縁膜 8 a 上に形成された発熱抵抗体 4 には、発熱抵抗体 4 の温度が空気流 1 1 の温度を示す空気温度測温抵抗体 6 の温度より一定温度高くなるように、加熱電流が流されている。

【0032】空気流 1 1 の流量および流れ方向は、発熱抵抗体 4 の上下流に形成された上流側測温抵抗体 5 a と下流側測温抵抗体 5 b の温度（抵抗値）を比較することにより検知される。つまり、上流側測温抵抗体 5 a と下流側測温抵抗体 5 b は、空気流が零のときはほぼ同じ温度を示し温度差が生じない。一方、図 1 の空気流 1 1 の方向（順流）ではおもに上流側に配置された上流側測温抵抗体 5 a の方が下流側に配置された下流側測温抵抗体 5 b より空気流 1 1 による冷却効果が大きいことから、上流側測温抵抗体 5 a と下流側測温抵抗体 5 b の温度差から流量が計測される。一方、空気流 1 1 が図 1 の方向と反対（逆流）のときには、今度は下流側測温抵抗体 5 b の温度の方が上流側測温抵抗体 5 a の温度より低くなり、上流側測温抵抗体 5 a と下流側測温抵抗体 5 b の温度差の符号が逆転することから、温度差から空気流量がまた温度差の符号から空気流 1 1 の方向が検知できる。

【0033】図 3 は、図 1 の素子 1 の実装した熱式空気流量センサの実施例を示す断面図である。例えば、自動車等の内燃機関の吸気通路に実装した熱式空気流量センサの実施例を示す断面図である。熱式空気流量センサは、図のように、素子 1 と支持体 3 2 と外部回路 3 3 とを含み構成される。そして吸気通路 3 0 の内部にある副通路 3 1 に素子 1 が配置される。外部回路 3 3 は支持体 3 2 を介して測定素子 1 の端子電極 1 0 に電気的に接続されている。ここで、通常では吸入空気は 1 1 で示された方向に流れており、ある内燃機関の条件によって 1 1 とは逆の方向（逆流）に吸入空気が流れる。

【0034】図 4 は、図 3 の素子 1 および支持体 3 2 の拡大図である。図 4 に見るように、素子 1 は支持体 3 2 上に固定され、更に、アルミナ等の電気絶縁基板上に端子電極 3 4 および信号処理回路が形成された外部回路 3 3 が、同じく支持体 3 2 上に固定される。この素子 1 と外部回路 3 3 は、端子電極 1 0 および 3 4 間を金線 3 5 等でワイヤボンディングにより電気的に接続された後、前記の金線 3 5、電極端子 1 0、3 4 や外部回路 3 3 を保護するために上側から支持体（図示せず）により保護される。また、計測された吸入空気量の出力が内燃機関制御装置に出力され、空気流量に見合った適切な燃料を算出し内燃機関の燃料噴霧量を制御する。

【0035】次に、図 8 を参照し、本発明の実施例の回路動作について説明する。図 8 は、図 1 の素子 1 の抵抗体 4、5 a、5 b、6 と駆動制御回路を示したものである。図中、1 8 は電源、1 9 は発熱抵抗体 4 に加熱電流を流すためのトランジスタ、2 2 a、2 2 b、2 2 c、2 2 d は抵抗、2 0 は A/D 変換器等を含む入力回路と

D/A 変換器等を含む出力回路と演算処理等を行う CPU からなる制御回路、2 1 はメモリ回路である。

【0036】ここで、発熱抵抗体 4、空気温度測温抵抗体 6、抵抗 2 2 a、2 2 b よりなるブリッジ回路の端子 J、K の電圧が制御回路 2 0 に入力され、加熱抵抗体 4 の温度（ T_h ）が空気温度に対応する空気温度測温抵抗体 6 の温度（ T_a ）よりある一定値（例えば $\Delta T_h = T_h - T_a = 150^\circ\text{C}$ ）高くなるよう各抵抗値 2 2 a、2 2 b が設定され制御回路 2 2 により制御される。発熱抵抗体 4 の温度が設定値より低い場合には、制御回路 2 0 の出力によりトランジスタ 1 9 がオンし発熱抵抗体 4 に加熱電流が流れ、設定温度より高くなるとトランジスタ 1 9 がオフするように制御し設定値が一定になるよう制御される。

【0037】上流側測温抵抗体 5 a と下流側測温抵抗体 5 b の温度差は、上流側測温抵抗体 5 a、下流側測温抵抗体 5 b、抵抗 2 2 c、2 2 d のブリッジ回路の端子 L、M の電位差より検出する。空気流量がゼロの時には、ブリッジ回路の端子 L、M の電位が一致するように各抵抗 2 2 c、2 2 d の抵抗値を調整しておき、また、空気流量とブリッジ回路の端子 L、M の電位差との関係を与えメモリ 2 1 に記憶しておけば、端子 L、M の電位差および大小関係から空気流量および流れの方向を計測し出力することが出来る。

【0038】ブリッジ回路を構成する前記発熱抵抗体 4 及び空気温度測温抵抗体 6 は、燐（P）ドーパ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜で構成し、且つ同じ不純物濃度としたことにより抵抗温度係数（ α ）が等しくなる。従って、加熱抵抗体 4 の温度（ T_h ）を設定する際（例えば $\Delta T_h = 150^\circ\text{C}$ ）の各抵抗値 2 2 a、2 2 b の設定が単純な比の関係になることから簡便になる。

【0039】上記のように空気温度測温抵抗体 6 と発熱抵抗体 4 とブリッジ回路を構成したことにより、従来例の熱式空気流量センサでは発熱抵抗体のみで構成されていたのに対して空気温度の変化を考慮した空気流の流量検出及び方向検知が可能となる。

【0040】次に、図 5、図 6 及び図 7 を用いて、燐（P）ドーパ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜について説明する。

【0041】本実施例では、発熱抵抗体 4、上流側測温抵抗体 5 a、下流側測温抵抗体 5 b、および空気温度測温抵抗体 6 を燐（P）ドーパ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜 2 b で構成している。この様にドーパ処理された単結晶ケイ素（Si）半導体薄膜を用いたことにより、白金等の貴金属に比較して材料コストが低減できる。また、多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜に比べ結晶粒界が存在しないことから、多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜に見られる結晶粒界でのドーパ処理された燐（P）等の不純物の凝集と拡散等による抵抗値の経時変

化がなくなり信頼性の高い抵抗体が実現出来る。更に、結晶方位および不純物濃度を制御することにより各抵抗体に最適のピエゾ抵抗係数(π)、抵抗率(ρ)および抵抗温度係数(α)が選択できるという利点がある。

【0042】図5に燐(P)ドーパ処理されたn型-単

$$(\Delta R/R) = (\pi l) \times \Delta \sigma l + (\pi t) \times \Delta \sigma t \quad \dots (1)$$

ここで、(πl)は抵抗体(R)に流れる電流と平行方向に加わる応力変化($\Delta \sigma l$)に対するピエゾ抵抗係数で、(πt)は抵抗体(R)に流れる電流と垂直方向に加わる応力変化($\Delta \sigma t$)に対するピエゾ抵抗係数である。各ピエゾ抵抗係数(πl)、(πt)は結晶方位により異なり、特に<110>の結晶方位ではピエゾ抵抗係数(πl)、(πt)ともに極小値(B点、C点)を示している。

【0044】熱式空気流量センサとしては、抵抗体の抵抗変化($\Delta R/R$)は前記したように温度変化以外に対しては不感であることが望ましい。このピエゾ抵抗係数(πl)、(πt)ともに極小値を示す<110>の結晶方位の方向を図1に示した抵抗体4、5a、5bおよび6の長さ方向と一致させることにより、抵抗体の上下に薄膜構造体8a、8bを形成する工程およびエッチング等の製造工程にて発生する応力変化($\Delta \sigma l$)、($\Delta \sigma t$)に対する抵抗変化($\Delta R/R$)を低減することが出来る。ピエゾ抵抗係数(πl)、(πt)ともに極小値を示す結晶方位を抵抗体の長さ方向に選択することにより、より信頼性の高い流量計測が可能となる。次に、抵抗率(ρ)および抵抗温度係数(α)に関して説明する。

$$R = R_0 (1 + \alpha (T - T_0))$$

ここで、Rは温度(T)における半導体膜の抵抗値、 R_0 は温度(T_0)における半導体膜の抵抗値、 α は抵抗温度係数である。抵抗温度係数(α)が大きいほうが温度に対しての抵抗値の変化が大きくとれることから、測温抵抗体5a、5bとしては抵抗温度係数(α)が大きいほうが検出感度が上がり空気流量の測定精度が向上することから望まれる。測温抵抗体5a、5bとしては、図7で示される領域17の抵抗温度係数(α)が1000($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)以上で、図6で見れば不純物濃度が $3 \times 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以下の14の領域が選択される。

【0049】一方、発熱抵抗体4としては、前記の測温抵抗体5a、5bと同じ不純物濃度領域14では抵抗率(ρ)が大きくなり過ぎる。所望の温度(例えば200 $^{\circ}\text{C}$)に発熱抵抗体4を加熱しようとする、発熱抵抗体4の抵抗値が大きくなり高い駆動電圧が必要となり十分に加熱出来ないという問題が生ずる。発熱抵抗体4の抵抗値を下げるためには、単結晶ケイ素(Si)半導体膜の膜厚を厚くする対応が考えられるが、膜厚を厚くすると所望のパターンに精度良くエッチングすることが難しくなり材料コストの面からも好ましくない。エッチングが精度良く実現出来る単結晶ケイ素(Si)半導体膜の

結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の(001)面のピエゾ抵抗係数(π)の結晶方位依存を示した。ピエゾ抵抗係数(π)と抵抗変化($\Delta R/R$)の関係は(1)式のように記述できる。

【0043】

【0045】本実施例の発熱抵抗体4及び空気温度測温抵抗体6としては、前記したようにブリッジ回路を構成することから抵抗温度係数を一致させる必要があり、且つ発熱抵抗体としては駆動電圧を低減するために高抵抗はあまり好ましくない。一方、上流側測温抵抗体5a、下流側測温抵抗体5bとしては、感度を上げるために抵抗温度係数(α)が大きいことが望まれる。この為、本実施例では、発熱抵抗体4及び空気温度測温抵抗体6の不純物濃度を上流側測温抵抗体5a、下流側測温抵抗体5bの不純物濃度より大きく最適化を図っている。

【0046】図6は、単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の抵抗率(ρ)と不純物濃度の関係を示したものである。また、図7は、単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の抵抗温度係数(α)と抵抗率(ρ)の関係を示したものである。図6、図7を見て分かるように、不純物濃度が高くなるに従い単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の抵抗率(ρ)および抵抗温度係数(α)ともに小さくなる。

【0047】単結晶ケイ素(Si)半導体膜は一般的にサーミスタ的な抵抗-温度特性を示すが、温度範囲が比較的狭く且つ不純物ドーパ処理された場合には金属的な抵抗-温度特性(2)式を示す。

【0048】

$$\dots (2)$$

膜厚は約1ミクロンが限界であり、この厚さで10ボルト以下の駆動電圧で駆動出来る発熱抵抗体4の抵抗値は1k Ω 以下であり、図4の領域13で示した不純物濃度が $3 \times 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上で抵抗率(ρ)が30($\times 10^{-4}\Omega\text{-cm}$)以下の領域が選択される。

【0050】この様に、発熱抵抗体4の不純物濃度を $3 \times 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上とし、且つ、前記測温抵抗体5a、5bの不純物濃度より大きく構成したことにより、発熱抵抗体4の抵抗率(ρ)を比較的小さく出来ることから発熱抵抗体の抵抗値の設計自由度が向上するとともに、測温抵抗体5a、5bの抵抗温度係数(α)を比較的大きく保つことが出来、測温感度の向上が図られる。

【0051】また、空気温度測温抵抗体6は前記したように発熱抵抗体4とブリッジ回路を構成することから、抵抗温度係数(α)を一致させる必要から発熱抵抗体4と同じ不純物濃度(領域13)が選択される。

【0052】本実施例の発熱抵抗体4の抵抗値としては、電源電圧および発熱量の関係から50~1000 Ω 、測温抵抗体5a、5bおよび空気温度測温抵抗体6の抵抗値としては1~5k Ω を選択した。

【0053】次に、本実施例の熱式空気流量センサ素子

1の製造工程の具体例について、図9、図10および図11を参照して説明する。

【0054】本実施例では、単結晶ケイ素(Si)等の半導体基板2a、電気絶縁膜8aおよび燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bとしてはSOI(Silicon on Insulator)基板を用いた。このSOI基板の作製方法としては幾つかの方法がある。図9に、結合SOI基板を、図10にSIMOX(Separation by Implanted Oxygen)基板の作製方法を示す。

【0055】図9の結合SOI基板では、燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bとして、予め所定の結晶方位で 3×10^{19} (cm⁻³)以下の濃度で燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)基板23を用いる。また、半導体基板2aとしては、任意の結晶方位と不純物濃度で構わないが、図9(a)ではボロン(B)をドーブ処理したp型の(011)面の単結晶ケイ素(Si)基板24を用いた。

【0056】まず、(b)の工程にて、単結晶ケイ素(Si)基板23を熱酸化して所定の厚さ約0.4μmの二酸化ケイ素(SiO₂)の薄膜層25を形成する。この二酸化ケイ素(SiO₂)の薄膜層25は、最終的には電気絶縁膜8aとなる。次に、工程(c)にて、基板23と基板24を所定の結晶方位関係を維持して貼り合わせ1100℃で2時間酸化雰囲気にて結合アニールを行い結合強度を確実にする。更に、工程(d)にて、基板23側から研削および研磨をすることにより薄肉加工し所定の厚さ約1μmの燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2b、約0.4μmの二酸化ケイ素(SiO₂)の電気絶縁膜8aおよび半導体基板2aからなる結合SOI基板が得られる。

【0057】一方、図10のSIMOX基板では、燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bとして、予め所定の結晶方位で 3×10^{19} (cm⁻³)以下の濃度で燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)基板23を用いる。工程(a)では、29で示す様に約200keVに加速された酸素イオンを高濃度に基板23面上からイオン注入する。酸素イオンの加速電圧と濃度により、埋込まれた二酸化ケイ素(SiO₂)の電気絶縁膜8aの深さおよび厚さを制御することが出来る。工程(b)では、結晶性を回復させるために1300℃以上の温度でアニールすることにより、所定の厚さ約1μmの燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2b、約0.4μmの二酸化ケイ素(SiO₂)の電気絶縁膜8aおよび半導体基板2aからなるSIMOX基板が得られる。但し、このSIMOX基板では上記の作製方法から分かるように、半導体薄膜2bと半導体基板2aは同じ結晶方位と不純物濃度の単結晶ケイ素(Si)半導体となる。この作製方法では、一枚の単結晶ケイ素(Si)基板23から前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bと

前記半導体基板2aが得られることから、製造工程等で生ずる応力影響が少なくできるとともに製造コストの低減が実現できる。

【0058】次に、図11にて、作製されたSOI基板以降の製造工程について説明する。図11(a)が、上記のSOI基板であり、所定の厚さ約1μmで 3×10^{19} (cm⁻³)以下の濃度で燐(P)ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2b、約0.4μmの二酸化ケイ素(SiO₂)の電気絶縁膜8aおよび半導体基板2aからなる。

【0059】工程(b)では、不純物拡散のマスク材として二酸化ケイ素(SiO₂)層26a、26bを約0.3μm程度の厚さにCVD等の方法で形成する。工程(c)では、発熱抵抗体4、空気温度測温抵抗体6および配線部の不純物濃度を 3×10^{19} (cm⁻³)以上とするために、測温抵抗体5a、5bが形成される領域以外のマスク材26aをエッチングにて除去する。マスク材26aが除去された領域27a、27bの単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bに対して熱拡散あるいはイオン打ち込み等の方法により更にP(燐)等の不純物ドーブ処理がなされ不純物濃度を 3×10^{19} (cm⁻³)以上の高濃度にドーブ処理する。

【0060】工程(d)では、公知のホトリソグラフィ技術によりレジストを所定の形状に形成した後反応性イオンエッチング等の方法により、単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bをパターニングし、不純物濃度を 3×10^{19} (cm⁻³)以上の高濃度にドーブ処理した発熱抵抗体4、空気温度測温抵抗体6と不純物濃度が 3×10^{19} (cm⁻³)以下の測温抵抗体5a、5bが形成される。その後、図示していないが端子電極10及び各抵抗体と端子電極11を接続するための配線接続部9が、アルミニウム、金等で形成される。

【0061】工程(e)では、保護膜8bとして、二酸化ケイ素(SiO₂)を約0.5ミクロン厚にCVD法等により形成する。ここで、保護膜8bとしては、前記の二酸化ケイ素以外の構成材でも可能である。例えば、機械強度が高く熱膨張係数が単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aより若干大きい窒化ケイ素(Si₃N₄)を用いても、或いは熱膨張係数が単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aの1/10である二酸化ケイ素と熱膨張係数が単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aより若干大きい窒化ケイ素の多層構成とし熱膨張係数のマッチングを図った構成とすることにより、温度変化による単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aと保護膜8b間の熱応力が低減でき強度向上が図られる。

【0062】工程(f)では、単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aに空洞7を形成する為に、基板裏面のエッチングのマスク材26bを所定の形状にパターニングし単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aのエッチング部を露出させる。マスク材としては二酸化ケイ素あるいはよ

りエッチング選択比の高い窒化ケイ素等が用いられる。

【0063】最終工程(g)では、最後に、単結晶ケイ素(Si)半導体基板2aの裏面を水酸化カリウム(KOH)等のエッチング液を用いて異方性エッチングすることにより空洞7を形成して、本実施例の熱式空気流量センサ素子1が完成する。

【0064】上記の様に、半導体基板2a上に電気絶縁膜8aを介して発熱抵抗体4及び複数の測温抵抗体5a, 5b, 6をドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bで構成したことにより、空洞7が電気絶縁膜8aにより覆われ開口部が存在しない。従って、従来例にて問題のあった抵抗体の回りの開口した領域に塵埃等が付着して計測誤差が発生する問題を解決できる。

【0065】また、発熱抵抗体4及び複数の測定抵抗体5a, 5b, 6をドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bで構成したことにより、結晶粒界が存在しないことから抵抗値の経時変化が改善され、更に、パターン形成された前記抵抗体の長手方向と単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bのピエゾ抵抗係数が極小となる結晶方位とをほぼ一致させたことにより、製造工程等で生ずる電気絶縁膜8a, 8bの残留応力の影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0066】更に、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6の不純物濃度を他の測温抵抗体5a, 5bの不純物濃度より大きくしたことにより、測温抵抗体5a, 5bでは抵抗温度係数が大きく出来、発熱抵抗体4の抵抗値を低減でき各々最適の特性の選択が可能となる。且つ、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6の不純物濃度を等しくしたことにより、両者の抵抗温度係数が同じになり、吸気温度補償の為にブリッジ回路を構成した場合に高精度の流量計測精度が実現できる。

【0067】図5に示した前記単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bとしては、リン(P)ドーブ処理されたn型単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の(001)面を用いていたが、これに限定されるものでない。

【0068】次に、本発明の前記単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bとしての他の実施例に関して、図12, 図13, 図14, 図15および図16を用いて説明する。

【0069】図12は、前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bが、リン(P)等の不純物がドーブされたn型半導体の薄膜面が(211)面におけるピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)の結晶方位依存を示したものである。図から分かるように、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、ピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)がD点にてほぼゼロとなり製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0070】図13は、前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bが、リン(P)等の不純物が

ドーブされたn型半導体の薄膜面が(011)面におけるピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)の結晶方位依存を示したものである。図から分かるように、 $\langle 211 \rangle$ から $\langle 111 \rangle$ 間の結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、ピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)がE点にてほぼゼロとなり製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0071】図14は、前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bが、ボロン(B)等の不純物がドーブされたp型半導体の薄膜面が(001)面におけるピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)の結晶方位依存を示したものである。図から分かるように、 $\langle 100 \rangle$ 或いは $\langle 010 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、ピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)がF点にてほぼゼロとなり製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0072】図15は、前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bが、ボロン(B)等の不純物がドーブされたp型半導体の薄膜面が(011)面におけるピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)の結晶方位依存を示したものである。図から分かるように、 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、ピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)がG点にてほぼゼロとなり製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。図16は、前記ドーブ処理された単結晶ケイ素(Si)半導体薄膜2bが、ボロン(B)等の不純物がドーブされたp型半導体の薄膜面が(211)面におけるピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)の結晶方位依存を示したものである。図から分かるように、 $\langle 120 \rangle$ 或いは $\langle 102 \rangle$ 結晶方位がパターン形成された前記抵抗体の長手方向とすることにより、ピエゾ抵抗係数(π_1), (π_t)がH, I点にて極小となり製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。

【0073】上記実施例の半導体基板2aおよび単結晶半導体膜2bとしては、ケイ素(Si)についてのみ記載したが、同じ半導体である炭化ケイ素(SiC)或いはガリウム砒素(GaAs)を用いた場合においても上記の実施例と同様の効果が得られることは明らかである。

【0074】また、上記実施例の不純物はP(リン)としたが、同じくn形の不純物としてはN(窒素), Sb(アンチモン), As(ヒ素)が、一方p形の不純物としてはAl(アルミニウム), B(ボロン)等を用いても良い。

【0075】本実施例では、発熱抵抗体4の上下流に配した測温抵抗体5a, 5bの温度差から流量および流れの方向を計測する温度差検知方式を採用しているが、発熱抵抗体4の加熱電流から流量を計測する直熱方式にお

いても、また他の用途の複数の測温抵抗体を配した構成においても、本発明に適用出来ることは自明である。本実施例によれば、半導体基板 2 a 上に電気絶縁膜 8 a を介して発熱抵抗体 4 及び複数の測温抵抗体 5 a, 5 b, 6 をドーブ処理された単結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜 2 b で構成したことにより、発熱抵抗体 4 と半導体基板 2 a 間の熱絶縁および電気絶縁が確実に確保され、且つ、結晶粒界が存在しないことから抵抗値の経時変化が改善される。また、パターン形成された前記抵抗体の長手方向と単結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜 2 b のピエゾ抵抗係数が極小となる結晶方位とをほぼ一致させたことにより、製造工程等で生ずる応力影響を少なくでき安定した流量計測精度が実現できる。更には、発熱抵抗体 4 と空気温度測温抵抗体 6 の不純物濃度の他の測温抵抗体の不純物濃度より大きく $3 \times 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以下とし且つ同じにしたことにより、測温抵抗体 5 a, 5 b では抵抗温度係数が大きく出来、発熱抵抗体 4 では抵抗値を低減でき各々最適の特性の選択が可能となり、より高精度の熱式空気流量センサが提供できる。

【0076】

【発明の効果】本発明によれば、信頼性が高く、計測精度の良い熱式空気流量計が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例の熱式空気流量センサ素子 1 の平面を示す図である。

【図 2】図 1 の素子の A-A' 断面を示す図である。

【図 3】熱式空気流量センサ素子 1 の実装構造を示す図である。

【図 4】図 3 の拡大図である。

【図 5】n 型単結晶ケイ素 (001) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

【図 6】多結晶ケイ素半導体薄膜の抵抗率 (ρ) と不純物濃度の関係を示す図である。

【図 7】多結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜の抵抗温度係

数 (α) と抵抗率 (ρ) の関係を示す図である。

【図 8】抵抗体 4, 5 a, 5 b, 6 の電気回路を示す図である。

【図 9】SOI 基板の製造工程を説明する図である。

【図 10】SIMOX 基板の製造工程を説明する図である。

【図 11】素子 1 の製造工程を説明する図である。

【図 12】n 型単結晶ケイ素 (211) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

【図 13】n 型単結晶ケイ素 (011) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

【図 14】p 型単結晶ケイ素 (001) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

【図 15】p 型単結晶ケイ素 (011) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

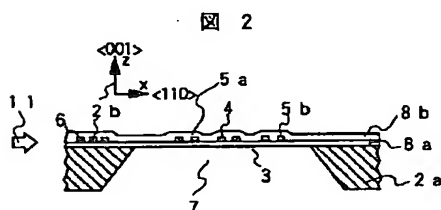
【図 16】p 型単結晶ケイ素 (211) 面のピエゾ抵抗係数の結晶方位依存を示す図である。

【図 17】従来例の熱式空気流量センサ素子 1 の平面および断面を示す図である。

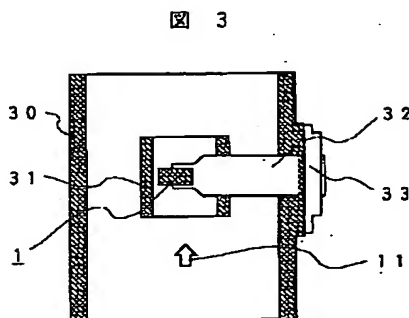
【符号の説明】

1…素子、2 a, 23, 24…半導体基板、2 b, 27 a, 27 b…ドーブ処理された単結晶ケイ素 (S i) 半導体薄膜、3…ダイヤフラム、4…発熱抵抗体、5 a…上流側測温抵抗体、5 b…下流側測温抵抗体、6…空気温度測温抵抗体、7…空洞、8 a, 25…電気絶縁層、8 b…保護膜、9 a, 9 b, 9 c, 9 d, 9 e, 9 f, 9 g, 9 h…配線接続部、10, 10 a, 10 b, 10 c, 10 d, 10 e, 10 f, 10 g, 10 h, 34…端子電極、11…空気流、18…電源、19…トランジスタ、22 a, 22 b, 22 c, 22 d…抵抗、20…制御回路、21…メモリ、29…酸素イオン、26 a, 26 b…マスク材、30…主通路、31…副通路、32…支持体、33…外部回路、35…金線。

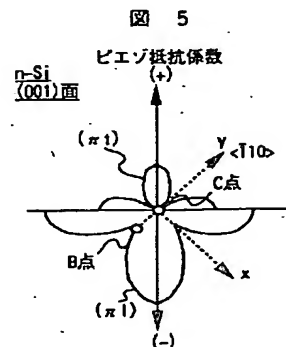
【図 2】



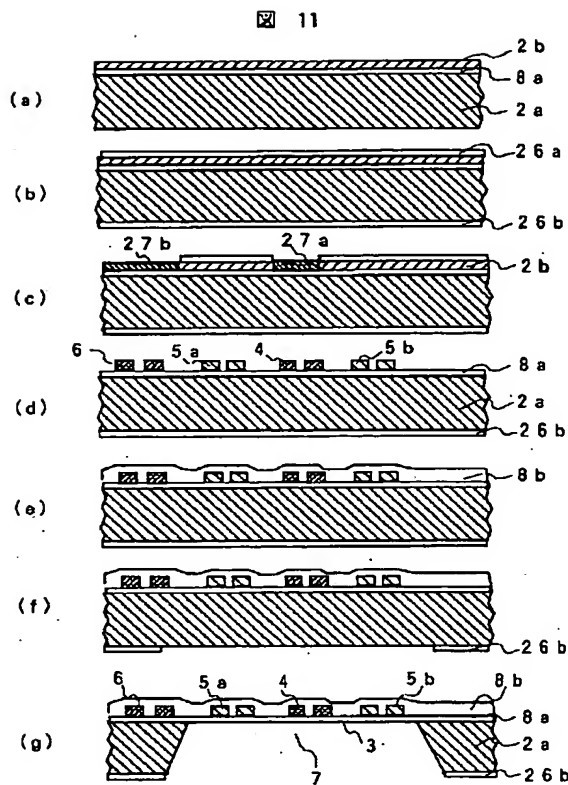
【図 3】



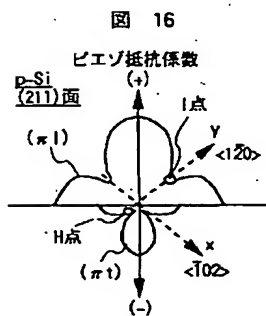
【図 5】



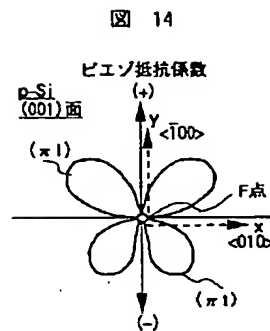
【図11】



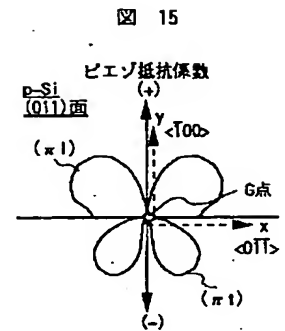
【図16】



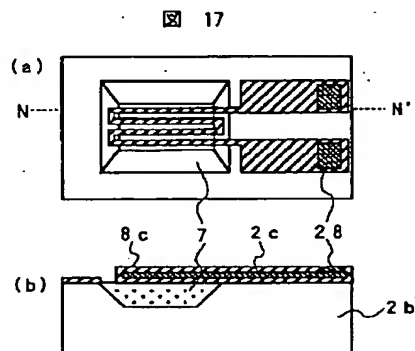
【図14】



【図15】



【図17】



フロントページの続き

(72) 発明者 五十嵐 信弥
茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会社
日立カーエンジニアリング内
(72) 発明者 渡辺 泉
茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会社
日立カーエンジニアリング内

(72) 発明者 中田 圭一
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株
式会社日立製作所自動車機器事業部内
Fターム(参考) 2F035 AA02 EA03 EA04 EA08
3G084 DA04 FA08